

# METHOD OF OPERATING A WIND POWER STATION

Publication number: EP0847496

Publication date: 1998-06-17

Inventor: WOB BEN ALOYS (DE)

Applicant: WOB BEN ALOYS (DE)

Classification:

- international: F03D7/02; F03D7/04; H02P9/04; F03D7/00; H02P9/04;  
(IPC1-7): F03D7/04; F03D7/02

- European: F03D7/02; F03D7/04; H02P9/04

Application number: EP19960930129 19960829

Priority number(s): DE19951032409 19950901; WO1996EP03801  
19960829

Also published as:



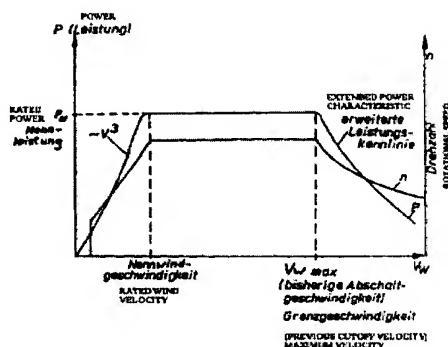
WO9709531 (A1)  
EP0847496 (A0)  
DE19532409 (A1)  
EP0847496 (B1)  
PT847496T (E)

Report a data error here

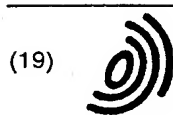
Abstract not available for EP0847496

Abstract of corresponding document: DE19532409

The invention pertains to a method of operating a wind power station, especially to limit the load on a wind power station, preferably a pitch-controlled wind power station. The invention also pertains to a corresponding wind power station. The invention is designed to increase the output of a wind power station and yet limit the load on the wind power station at very high wind velocities. This is accomplished by reducing the power of the wind power station as a function of wind velocity as of a predetermined wind velocity, preferably by reducing the operating velocity of the rotor of the wind power station when a wind appears with a wind velocity above a maximum wind velocity or maximum velocity in the blower stream.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 847 496 B1

(12) EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
09.08.2000 Patentblatt 2000/32

(51) Int Cl.7: F03D 7/04, F03D 7/02

(21) Anmeldenummer: 96930129.0

(86) Internationale Anmeldenummer:  
PCT/EP96/03801

(22) Anmeldetag: 29.08.1996

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
WO 97/09531 (13.03.1997 Gazette 1997/12)

(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER WINDENERGIEANLAGE

METHOD OF OPERATING A WIND POWER STATION

PROCEDE PERMETTANT D'ACTIONNER UNE CENTRALE EOLIENNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE DK ES GB GR IE PT

(56) Entgegenhaltungen:  
EP-A- 0 266 715

(30) Priorität: 01.09.1995 DE 19532409

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.06.1998 Patentblatt 1998/25

(73) Patentinhaber: Wobben, Aloys  
26607 Aurich (DE)

(72) Erfinder: Wobben, Aloys  
26607 Aurich (DE)

(74) Vertreter: Eisenführ, Speiser & Partner  
Martinistrasse 24  
28195 Bremen (DE)

- E.W.GOLDING: "The generation of electricity by wind power." 1976, SPON LTD, LONDON, GB XP002021258 siehe Seite 212 - Seite 213
- WIND ENERGY CONVERSION 1995. PROCEEDINGS OF THE 17TH BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION CONFERENCE, PROCEEDINGS OF 17TH ANNUAL CONFERENCE. BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION, WARWICK, UK, 19-21 JULY 1995, ISBN 0-85298-961-X, 1995, BURY ST. EDMUNDS, UK, MECH. ENG. PUBLICATIONS, UK, Seiten 243-248, XP000612993 CARDENAS R ET AL: "Adaptive pitch control for variable speed wind turbines"
- PROCEEDINGS OF THE 22ND IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, SAN ANTONIO, TX, USA, 14-16 DEC. 1983, 1983, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, Seiten 1417-1421 vol.3, XP000612992 LYONS J P JR ET AL: "The control of variable-speed wind turbine generators"

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 847 496 B1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer pitchgeregelten Windenergieanlage. Weiter betrifft die Erfindung eine zugehörige Windenergieanlage.

[0002] Die Rotorblätter des Rotors einer Windenergieanlage werden durch den auf sie wirkenden Staudruck belastet, der von den herrschenden Windverhältnissen, insbesondere von der Windgeschwindigkeit des herrschenden Windes abhängt. Dieses Abhängigkeitsverhältnis ergibt sich aus:

$$(1) \quad q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2,$$

wobei  $q$  der wirksame Staudruck,  $\rho$  die Luftdichte und  $v$  zunächst einmal die Anströmgeschwindigkeit des Windes am Profil ist.

[0003] Die Anströmgeschwindigkeit  $v$  setzt sich vektoriell aus der tatsächlichen Windgeschwindigkeit  $v_w$  und der örtlichen Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  an einem Ort des Rotorblattes zusammen.

[0004] Dabei ist:

$$(2) \quad v_u = r \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{60},$$

wobei  $n$  die Rotordrehzahl ist und  $r$  der betrachtete Rotorradius ist.

[0005] Für den Fall, daß die tatsächliche Windgeschwindigkeit  $v_w$  senkrecht zur Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  steht, der herrschende Wind also frontal bzw. axial auf den Rotor der Windenergieanlage bläst, ergibt sich mit Hilfe des Satzes von Pythagoras:

$$(3) \quad v = \sqrt{v_u^2 + v_w^2}.$$

In diesem Falle ist außerdem der Anströmwinkel  $\alpha$ , also der Winkel zwischen der Anströmgeschwindigkeit  $v$  und der Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  zu berechnen aus:

$$(4) \quad \tan \alpha = \frac{v_w}{v_u}.$$

Die am Blattprofil wirkende Kraft wird mit den Profilpolaren ermittelt, nämlich als:

$$(5) \quad F_A = q \cdot A \cdot c_\alpha,$$

wobei  $F_A$  die auf das Blattprofil wirkende Kraft ist,  $q$  der wirksame Staudruck ist,  $A$  die angeströmte Fläche bzw. Bezugsfläche des Rotorblattes ist und  $c_\alpha$  die Profilpolare als Funktion des Anströmwinkels  $\alpha$  ist.

[0006] In dem hier interessierenden Bereich kann die

Profilpolare  $c_\alpha$  annähernd linear beschrieben werden als:

$$(6) \quad c_\alpha = \text{konst} \cdot \alpha,$$

bzw. für kleine Winkel (im Bogenmaß):

$$(7) \quad \alpha(v_w \ll v_u): \tan \alpha \approx \alpha.$$

Daraus folgt mit Gleichung (4):

$$(8) \quad c_\alpha = \text{konst} \cdot \frac{v_w}{v_u}.$$

Weiter folgt mit Gleichung (5):

$$(9) \quad F_A = \frac{\rho}{2} \cdot (v_u^2 + v_w^2) \cdot A \cdot \text{konst} \cdot \frac{v_w}{v_u},$$

bzw. unter Zusammenfassung der konstanten Glieder:

$$(10) \quad F_A = \text{konst} \cdot (v_w^2 + v_u^2) \cdot \frac{v_w}{v_u}.$$

Natürlich steht der Geschwindigkeitsvektor des anströmenden Windes  $v_w$  nicht immer senkrecht auf der Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$ , so daß Gleichung (3) nicht immer gilt. Die vorhergehenden Gleichungen lassen jedoch zumindest qualitativ Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter von einander erkennen.

[0007] Insbesondere ist aus der Gleichung (1) zu entnehmen, daß der den Rotor der Windenergieanlage belastende wirksame Staudruck  $q$  quadratisch von der Anströmgeschwindigkeit  $v$  abhängt.

[0008] Die jeweilige Windenergieanlage kann also ab einer bestimmten maximalen Anströmgeschwindigkeit  $v_{\max}$  ihre Belastungsgrenze erreichen.

[0009] Es ist aus Robert Gasch: "Windkraftanlagen", B. G. Teubner Stuttgart, 1933, S. 303 ff. und Erich Hau: "Windkraftanlagen", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo, 1988 S. 323 f., S. 330 ff. bekannt, zur Begrenzung der Belastung einer Windenergieanlage im Sinne des Verfahrens der eingangs genannten Gattung eine Windenergieanlage bei Erreichen einer maximalen Windgeschwindigkeit  $v_{w\max}$  abzuschalten. Insbesondere bei Windparks führt eine solche Abschaltung, bei der alle Windenergieanlagen des Windparks bei Erreichen der Abschaltgeschwindigkeit nahezu zeitgleich abschalten, bzw. das Wiederanschalten nach einer solchen Abschaltung bei nachlassendem Wind zu starken Leistungsgradienten, die sich durch eine plötzliche Spannungsänderung im elektrischen Netz, an dem diese Windenergieanlagen angeschlossen

sind, bemerkbar machen.

[0010] Aus EP-A2-0 266 715 ist eine Windenergieanlage mit einer passiven Pitchregelung bekannt, bei welcher bei konstanter Drehzahl die Leistung der Windenergieanlage bei steigender Windgeschwindigkeit reduziert wird.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Ertrag einer Windenergieanlage zu erhöhen und dennoch die Belastung der Windenergieanlage bei höheren Windgeschwindigkeiten zu begrenzen.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Windenergieanlage nach Anspruch 4 gelöst.

[0013] Aus den obengenannten Gleichungen (1), (3) und (10) ist, jedenfalls qualitativ, erkennbar, daß der das Rotorblatt belastende Staudruck, ebenso wie die am Blattprofil wirkende und somit das Rotorblatt belastende Kraft, jeweils von der Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  und somit also von der Betriebsdrehzahl des Rotors abhängt. Zur Begrenzung der Belastung des Rotors der Windenergieanlage kann also bei steigender Windgeschwindigkeit  $v_w$  bzw. bei einer ungünstigen Anströmrichtung (je nachdem, welcher Parameter als Meßgröße genommen wird), die jeweils zum ungünstigen Anwachsen der resultierenden Anströmgeschwindigkeit  $v$  führen könnten, einem Anwachsen der Belastung durch eine Reduzierung der Drehzahl, also der Umfangsgeschwindigkeit, des Rotors entgegengewirkt werden.

[0014] Anders als bisher vorgesehen, wird also erfindungsgemäß mit Vorteil nicht die Windenergieanlage bei Erreichen einer Grenzgeschwindigkeit vollständig abgeschaltet werden und diese Grenzgeschwindigkeit also als Abschaltgeschwindigkeit definiert, sondern die Windenergieanlage wird lediglich zwangsweise in ihrer Betriebsdrehzahl reduziert, sobald die Anströmgeschwindigkeit  $v$  über den Wert der Grenzgeschwindigkeit anwächst. Die Windenergieanlage kann also oberhalb der üblichen "Abschaltgeschwindigkeit" weiter betrieben werden, wodurch ihre Leistungskennlinie zu größeren Windgeschwindigkeiten verlängert und der Energieertrag und die Netzverträglichkeit der Windenergieanlage verbessert werden. Insbesondere können durch die zwangsweise Betriebsdrehzahlreduzierung bei pitchgeregelten Windenergieanlagen die Belastungen durch die Erfindung in günstiger Weise begrenzt werden. Es werden durch die Erfindung zu starke, wechselnde Belastungen der Rotorblätter und damit zu unsymmetrische, pulsierende Belastungen der ganzen Anlage, die mit steigender Windgeschwindigkeit zunehmen, vermieden.

[0015] Möglichkeiten zur Betriebsdrehzahlreduzierung sind für andere als den erfinderischen Zweck an sich hinreichend bekannt. Eine Reduzierung der Betriebsdrehzahl kann bei einer pitchgeregelten Windenergieanlage z.B. einfach durch eine aktive Blattverstellung erreicht werden. Dies bedeutet, daß durch Änderung des Anstellwinkels des Blattprofils des Rotors der Auftrieb am Rotorblatt beeinflusst wird, und damit eine

Reduzierung der Rotordrehzahl erzielt werden kann. In Verbindung mit einem drehzahlvariabel betriebenen Antriebsstrang, z. B. für einen Pumpenbetrieb, die Netzeinspeisung über Wechselrichter oder dgl., wird weiterhin ein Produktionsbetrieb ermöglicht.

[0016] Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die Drehzahl des Rotors derart reduziert wird, daß das auf den Rotor der Windenergieanlage wirkende Belastungsniveau bei steigender Windgeschwindigkeit oberhalb der Grenzgeschwindigkeit annähernd konstant bleibt oder reduziert wird. Auf diese Weise kann vermieden werden, daß der Antriebsstrang der Windenergieanlage überlastet wird. Gleichzeitig wird hierdurch bei steigender Windgeschwindigkeit die abgegebene Leistung gedrosselt.

[0017] Eine erfindungsgemäße Windenergieanlage zeichnet sich durch eine Einrichtung aus, die eine automatische Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gewährleistet.

[0018] In der Zeichnung sind beispielhafte Erläuterungen zur Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine Leistungs- bzw. Drehzahlkennlinie einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage als

Funktion der Windgeschwindigkeit,

Fig. 2 eine Vektordarstellung zur Erläuterung der Anströmgeschwindigkeit an einem Rotorblatt einer Windenergieanlage und

Fig. 3 eine typische Profilpolare.

Die Fig. 1 gibt die Leistungskennlinie und die Drehzahlkennlinie einer erfindungsgemäß betriebenen Windenergieanlage als Funktion der Windgeschwindigkeit  $v_w$  wieder.

[0019] In der Figur sind die Leistung  $P$  und die Drehzahl  $n$  der Windenergieanlage gegenüber der Windgeschwindigkeit  $v_w$  aufgetragen. Die Leistung  $P$  soll bis zum Erreichen einer bestimmten Nenngeschwindigkeit relativ schnell ansteigen und dann bis zum Erreichen einer Grenzgeschwindigkeit  $v_{wmax}$ , der bisherigen Abschaltwindgeschwindigkeit, möglichst konstant gehalten werden. Bei bisheriger Betriebsweise einer Windenergieanlage würde die Leistungskennlinie bei Erreichen der Grenzgeschwindigkeit  $v_{wmax}$  abbrechen, weil die Windenergieanlage an dieser Stelle abgeschaltet würde. Die in der Figur gezeigte Leistungskennlinie einer erfindungsgemäß betriebenen Windenergieanlage zeigt jedoch einen erweiterten Leistungskennlinienbereich, der über die Grenzgeschwindigkeit  $v_{wmax}$ , die frühere Abschaltgeschwindigkeit, hinausführt. Es ist erkennbar, daß in dem Windgeschwindigkeitsbereich oberhalb der früheren Abschaltgeschwindigkeit jetzt die Leistung bzw. die Drehzahl lediglich gedrosselt wird, so daß die Belastung der Windenergieanlage in diesem Windgeschwindigkeitsbereich begrenzt ist und dennoch ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage erfolgt.

[0020] Die Fig. 2 zeigt eine Vektordarstellung zur Erläuterung der Anströmgeschwindigkeit an einem Rotor-

blatt einer Windenergieanlage. Diese Figur dient insbesondere zur Erläuterung der in der Beschreibungseinleitung gegebenen Gleichungen (3) - (5).

[0021] Eine weitere Erläuterung der in der Beschreibungseinleitung gegebenen Gleichungen (5) - (8) liefert die Fig. 3, die eine typische Profilpolare zeigt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit Pitchregelung, wobei die Leistung der Windenergieanlage wie auch die Betriebsdrehzahl des Rotors ab Erreichen einer die Windenergieanlage überlastungs gefährdenden Windgeschwindigkeit abhängig vom Anstieg der Wind- oder Anströmgeschwindigkeit kom:in which reduziert wird. 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebsdrehzahl (n) des Rotors derart reduziert wird, dass das auf den Rotor der Windenergieanlage wirkende Belastungsniveau bei steigender Windgeschwindigkeit oberhalb der überlastungs gefährdenden der Windgeschwindigkeit annähernd konstant bleibt oder reduziert wird. 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebsdrehzahlreduzierung mit einer auf das Belastungsniveau abgestimmten Leistungsänderung verbunden ist. 25
4. Windenergieanlage mit Pitchregelung, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur automatischen Leistungs- und Rotorbetriebszahlminderung ab Erreichen einer die Windenergieanlage überlastungs gefährdenden Windgeschwindigkeit abhängig vom Anstieg der Wind- oder Anströmgeschwindigkeit bzw. der wahren oder relativen Windgeschwindigkeit. 30 40

#### Claims

1. Method of operating a wind turbine with pitch control, in which the power of the wind turbine as well as the operating speed of the rotor is continuously reduced when a wind velocity is reached which is in danger of overloading the wind turbine, in dependence on the rise in the wind velocity or incident-stream velocity. 50
2. Method according to Claim 1, characterized in that the operating speed (n) of the rotor is reduced such that the load level acting on the rotor of the wind turbine remains approximately constant or is reduced when the wind velocity rises above the wind 55

velocity which is in danger of producing overloading.

3. Method according to Claim 1 or 2, characterized in that the reduction in operating speed is associated with a change in power matched to the load level. 5
4. Wind turbine with pitch control, characterized by a means for automatic power and rotor-speed reduction when a wind velocity is reached which is in danger of overloading the wind turbine, in dependence on the rise in the wind velocity or incident-stream velocity or the true or relative wind velocity. 10

#### Revendications

1. Procédé pour exploiter une centrale éolienne avec réglage Pitch, la puissance de la centrale éolienne ainsi que le régime de service étant réduits de façon continue en fonction de l'augmentation de la vitesse du vent ou de la vitesse de soufflage à partir d'une vitesse de vent qui représente un risque pour la centrale éolienne par surcharge. 15
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le(s) régime(s) de service du rotor est (sont) réduit(s) de telle façon que le niveau de charge agissant sur le rotor de la centrale éolienne reste approximativement constant ou soit réduit avec une vitesse de vent croissante au-dessus de la vitesse de vent représentant un risque par surcharge. 20
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la réduction du régime de service est liée à une modification de la puissance adaptée au niveau de charge. 25
4. Centrale éolienne avec réglage Pitch, caractérisée par un dispositif pour réduire automatiquement le régime de puissance et le régime du rotor à partir d'une vitesse représentant un risque pour la centrale éolienne par surcharge en fonction de l'augmentation de la vitesse du vent ou de soufflage et de la vitesse du vent réelle ou relative. 30 40 45

Fig. 1

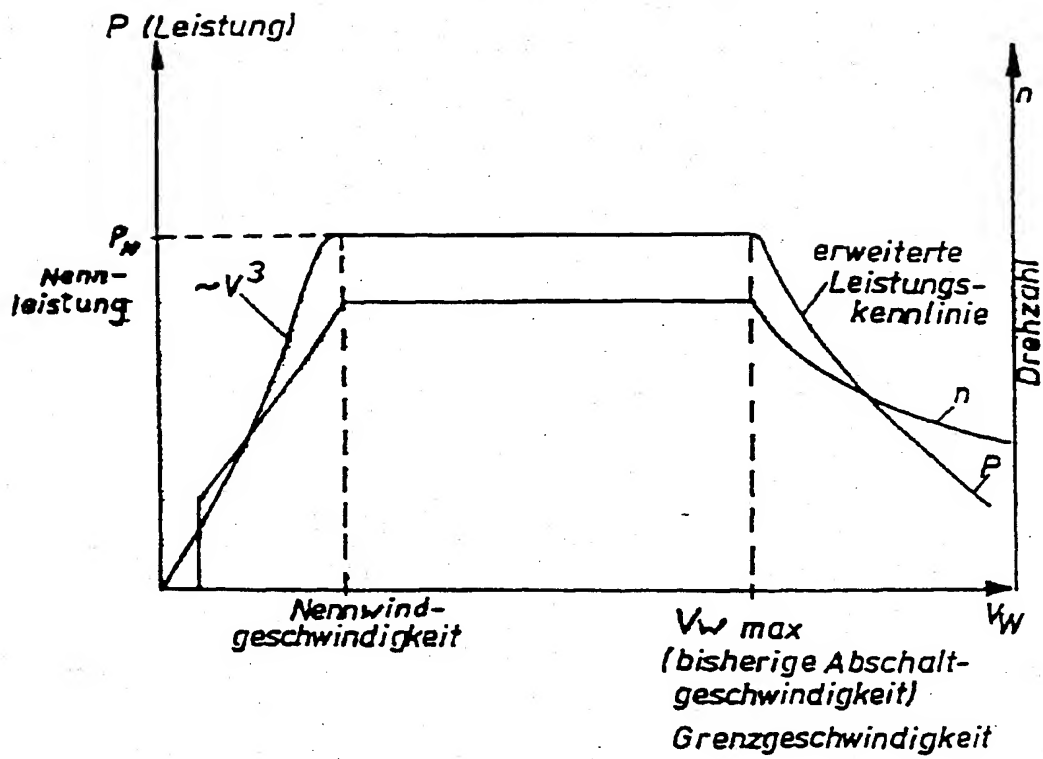


Fig.2

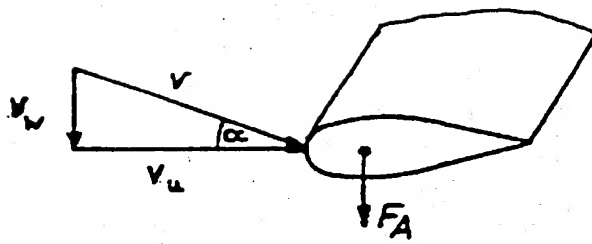


Fig.3

